

# 博弈原理在解决交通拥挤中的分析\*

董甜甜<sup>1</sup>, 谭建春<sup>2</sup>

(1. 重庆师范大学 经济管理学院 ;2. 审计处 ,重庆 401331 )

**摘要** 随着城市化与机动化的全面推进,我国大城市的交通拥挤现象日益突出。为探讨政府采用何种经济手段缓解交通拥堵更加合理,本文运用混合博弈的方法对政府和出行者两个博弈主体进行分析,从政府单纯征收拥堵税或进行公交补贴及两种策略共同实施的角度对出行者的出行行为选择进行研究,通过运用混合战略模型中的效用函数公式  $v_i(\sigma_i, \sigma_{-i} = \sum_{s \in S} (\prod_{j=1}^n \sigma_j(S_j)))u_i(s)$  综合分析政府和出行者的期望效用,探讨出政府通过经济政策来缓解交通拥堵的本质是引导私人小汽车向公共交通出行转变。在此基础上,本文提出对私家车征收交通拥挤税、向公共交通出行者提供经济补偿对缓解大城市高峰时期交通拥堵具有更加明显的效果,同时应将拥挤税税额限定在合理的范围之内。本文的研究结论为大城市解决交通拥堵提供了可借鉴和参考的依据。

**关键词** 交通拥堵;拥堵税;公交补贴;博弈论;政府和出行者的行为

中图分类号:F224.32

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)02-0099-04

改革开放以来,我国城市普遍迈入了快速发展期。在城市化与机动化的快速推进期,伴随着私人机动化的日渐盛行,交通拥堵等城市病开始困扰我国特大城市,成为城市发展过程中的阵痛,成为城市可持续发展的重要瓶颈之一。为应对城市交通道路日益凸显的供需矛盾,不少城市在经历增加道路供给、单双号限行、征收燃油附加税之后,依然陷入了持续的交通拥堵,并且交通拥堵程度、范围呈加剧和扩大的态势。新时期,我国大城市在积极推行国务院“公交优先”方针的同时,开始谋求征收交通拥挤费来抑制快速增长的私人机动化出行,不少特大城市如广州、上海乃至重庆都将征收拥堵费提上了议事日程。交通拥堵费的征收涉及到的内容较多,本文主要从征收拥堵税和公交补贴的角度,运用博弈论的方法对政府和出行者的行为进行分析,通过二者策略选择变化及其均衡结果,提出相应的措施,为城市解决交通拥堵提供可借鉴和参考的依据。

行者从自身利益最大化出发,不考虑驾驶出行带来的拥挤给他人带来外部效应,必然会造成“公共地悲剧”。为了使这种外部效应内部化,政府一般采取征收拥堵税的方法。

为了便于分析,先做如下基本假设:1)只存在两方参与人且都是理性人,即政府和出行者,政府有征税和不征税两种选择,出行者有私车出行和其他方式出行两种选择;2)假定市场信息是对称的,且是静态的博弈;3)每一方的每种策略不能使对方有针对性地倾向于某种策略。

假设私车出行带来的收益为  $a$ ,公交出行带来的收益为  $b$ ,政府征收的拥堵税为  $c$ ,收税的成本为  $d$ ,公交出行给政府带来的收益为  $f$ ,私车出行给政府带来的损失为  $g$ ,且  $a, b, c, d, f, g$  均大于 0,  $b < a < b + c, c > d$ 。

表1 政府和私家车主的博弈

		私家车主拥有者	
		私车出行	公交出行
政府	征收	$c - d - g$ $a - c$	$-d + f$ $b$
	不征收	$-g$ $a$	$f$ $b$

由博弈矩阵可以看出,当政府选择征收拥堵税

## 1 博弈论方法分析

### 1.1 拥堵税的征收

交通拥堵税是为了缓解交通拥堵以车主为征收对象向其征收一定税额的税种之一。城市道路设施属于准公共产品,交通容量有限。每个小汽车的出

\* 收稿日期 2011-09-05 修回日期 2011-11-07 网络出版时间 2012-03-14 19:27:00  
作者简介 董甜甜,女,硕士研究生,研究方向为博弈论,通讯作者:谭建春, E-mail: tanjc@vip.163.com  
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120314.1927.201202.99\_021.html

时,出行者的最优战略是选择公交出行,因为  $a - c < b$ ;当政府选择不征收拥挤税时,出行者的最优战略是私车出行,因为  $a > b$ ;当出行者选择私车出行时,政府的最优战略是征收拥堵税,因为  $c - d - g > -g$ ;当出行者选择公交出行时,政府的最优战略是不征收拥堵税,因为  $-d + f < f$ 。由此可以看出,该博弈不存在纯战略均衡。

考虑存在概率情况下的分析:假设政府征收拥堵税的概率为  $P_1$ ,那么不征收拥堵税的概率为  $1 - P_1$  私车出行的概率为  $P_2$ ,公交出行的概率为  $1 - P_2$ ;

给定  $P_2$ ,那么政府征收拥堵税的期望收益函数为

$$Eg_1 = (c - d - g)P_2 + (-d + f)(1 - P_2)$$

政府不征收拥堵税的期望收益函数为

$$Eg_2 = -gP_2 + f(1 - P_2)$$

令  $Eg_1 = Eg_2$ ,得到  $P_2 = d/c$ 。即:如果私车出行的概率小于  $d/c$ ,政府的最优选择是不征收拥堵税;如果私车出行的概率大于  $d/c$ ,政府的最优选择是征收拥堵税;如果私车出行的概率等于  $d/c$ ,政府随机的选择征收或不征收。

给定  $P_1$ ,出行者选择私车出行的期望收益函数为

$$Et_1 = (a - c)P_1 + a(1 - P_1)$$

出行者选择公交出行的期望收益函数为

$$Et_2 = bP_1 + b(1 - P_1)$$

令  $Et_1 = Et_2$ 得到  $P_1 = (a - b)/c$ 。即:如果政府征收拥堵税的概率小于  $(a - b)/c$ ,出行者的最优选择是私车出行;如果政府征收拥堵税的概率大于  $(a - b)/c$ ,出行者的最优选择是公交出行;如果政府征收拥堵税的概率等于  $(a - b)/c$ ,出行者随机的选择私车出行或公交出行。

因此,该混合战略纳什均衡为  $P_1 = (a - b)/c$ ,  $P_2 = d/c$ 。

### 1.2 公交系统的补贴

政府在解决交通拥挤,缓解交通供需关系不平衡的问题时,也会采取对出行者进行公交补贴的方式,对公交出行的补贴也会促使人们在出行时更多地考虑公交方式,以下模型是公交补贴政策下政府和出行者之间的博弈。

假设私车出行带来的收益为  $a$ ,公交出行带来的收益为  $b$ ,政府对公交出行的补贴为  $e$ ,发放补贴

的成本为  $r$ ,其他方式出行给政府带来的收益为  $f$ ,私车出行给政府带来的损失为  $g$ ,且  $a, b, e, d, f, g$  均大于  $0$ ,  $b < a < b + e$ 。

表 2 政府和出行者的博弈

		出行者			
		私车出行		公交出行	
政府	补贴	$-r - g$	$a$	$-e - r + f$	$b + e$
	不补贴	$-g$	$a$	$f$	$b$

由博弈矩阵可以看出,当政府选择发放补贴时,出行者的最优战略是选择公交出行,因为  $a < b + e$ ;当政府选择不补贴时,出行者的最优战略是私车出行,因为  $a > b$ ;当出行者选择私车出行时,政府的最优战略是不补贴,因为  $-r - g < -g$ ;当出行者选择公交出行时,政府的最优战略是不补贴,因为  $-e - r + f < f$ 。由此可以看出,政府存在一个占优策略,即不补贴。假设政府是理性的,政府绝对不会选择补贴的战略,因为对政府来说,不补贴严格优于补贴。再假定出行者是理性的,那么他会正确预测到政府会选择不补贴,那么出行者的最优策略是私车出行。即存在纳什均衡(不补贴私车出行)。

由于政府的功能定位是为社会谋求福利,而不是像企业一样追求自身的利益最大化,所以这个纳什均衡不稳定。政府从整个社会的福利出发,就必须实行补贴的政策,因为当出行者选择公交出行时,一旦政府不补贴,出行者就会选择私车出行,不能为交通拥挤减缓压力。所以只要  $(-e - r)$  的值尽可能小,且保证  $b + e > a$ ,最后的均衡就是(补贴公交出行)。

### 1.3 拥堵税和补贴政策同时实施

征收拥堵税是一种约束机制,而补贴属于激励机制。把约束机制和激励机制联合运用,就形成了以下的博弈矩阵。

假设在政府有两种战略,一是如果征收拥堵税,就对公交出行补贴;二是不征收拥堵税就不对公交出行补贴;出行者有私车出行和公交出行两种战略。假设私家车出行带来的收益为  $a$ ,公交出行带来的收益为  $b$ ,政府征收的拥堵税为  $c$ ,收税的成本为  $d$ ,政府对公交出行的补贴为  $e$ ,发放补贴的成本为  $r$ ,公交出行给政府带来的收益为  $f$ ,私车出行给政府带来的损失为  $g$ ,且  $a, b, c, d, e, r, f, g$  均大于  $0$ ,  $b < a$

$$< b + c + e \rho > d + r_0$$

表 3 政府和出行者拥有者的博弈

		出行者			
		私家车出行		公交出行	
政 府	征收	$c - d - r - g$	$a - c$	$-d - e - r + f$	$b + e$
	不征收	$-g$	$a$	$f$	$b$

由博弈矩阵可以看出,当政府选择征收拥堵税并对公交出行进行补贴时,出行者的最优战略是选择公交出行,因为  $a - c < b + e$ ;当政府选择不征收拥堵税并不对公交出行补贴时,出行者的最优战略是私家车出行,因为  $a > b$ ;当出行者选择私家车出行时,政府的最优战略是征收拥堵税并对公交出行补贴,因为  $c - d - r - g > -g$ ;当出行者选择公交出行时,政府的最优战略是不征收拥堵税并不对公交出行补贴,因为  $f > -d - e - r + f$ 。由此可以看出,该博弈不存在纯战略均衡。

考虑存在概率情况下的分析:假设政府征收拥堵税的概率为  $P_1$ ,那么其不征收拥堵税的概率为  $1 - P_1$ ;私家车出行的概率为  $P_2$ ,公交出行的概率为  $1 - P_2$ ;

给定  $P_2$ 那么政府征收拥堵税的期望收益函数为

$$Eg_1 = (c - d - r - g)P_2 + (-e - r - d + f)(1 - P_2)$$

政府不征收拥堵税的期望收益函数为

$$Eg_2 = (-g)P_2 + f(1 - P_2)$$

令  $Eg_1 = Eg_2$  得出  $P_2 = (e + r + d)/(c + e)$

即:如果私家车出行的概率小于  $(e + r + d)/(c + e)$ ,政府的最优选择是不征收拥堵税;如果私家车出行的概率大于  $(e + r + d)/(c + e)$ ,政府的最优选择是征收拥堵税;如果私家车出行的概率等于  $(e + r + d)/(c + e)$ ,政府随机的选择征收或不征收。

给定  $P_1$ ,出行者选择私家车出行的期望收益函数为

$$Et_1 = (a - c)P_1 + a(1 - P_1)$$

出行者选择公交出行的期望收益函数为

$$Et_2 = (b + e)P_1 + b(1 - P_1)$$

令  $Et_1 = Et_2$  得到  $P_1 = (a - b)/(e + c)$

即:如果政府征收拥堵税的概率小于  $(a - b)/(e + c)$ ,出行者的最优选择是私家车出行;如果政府征收拥堵税的概率大于  $(a - b)/(e + c)$ ,出行者的最

优选择是其他方式出行,如果政府征收拥堵税的概率等于  $(a - b)/(e + c)$ ,出行者随机的选择私家车出行或其他方式出行。

因此,该混合战略纳什均衡为  $P_1 = (a - b)/(e + c)$   $P_2 = (e + r + d)/(c + e)$ 。

## 2 博弈结果分析

由以上博弈矩阵(表 1)得出的纳什均衡  $P_1 = (a - b)/c$   $P_2 = d/c$  可以得出,增大  $c$  或者减少  $d$ ,都可以减小  $P_2$ ,即减少私家车出行的概率。但是如果盲目地增大  $c$ ,就会减小  $P_1$ ,即政府征收拥堵税的概率会降低。当政府征收拥堵税的概率降低时,出行者选择私家车出行的意愿会增强。因此政府在采取单纯征收拥堵税的策略中,应该制定合理的拥堵税税额,并尽可能的减少收税的成本。

由博弈矩阵(表 2)得出的最终均衡可以得出政府由于为公众谋福利的功能定位使其处于博弈中的弱势方。在博弈中只要  $(-e - r)$  的值尽可能小,且保证  $b + e > a$ ,即发放补贴的金额能够弥补公交出行和私家车出行的收益差额。这样政府在博弈中就可能通过减少损失来获得公共福利,使其处于(补贴公交出行)的均衡中。

由博弈矩阵(表 3)得出的纳什均衡  $P_1 = (a - b)/(e + c)$   $P_2 = (e + r + d)/(c + e) = 1 - (c - r - d)/(c + e)$  可以得出,增加  $c$ ,或者减小  $r$  或  $d$  或  $e$ ,都可以减小  $P_2$ ,即减少私家车出行的概率。

比较博弈矩阵(表 1)得出的  $P_2 = d/c$  和矩阵(表 3)得出  $P_2 = (e + r + d)/(c + e)$ ,可知  $d/c - (e + r + d)/(c + e) < 0$ ,即表 1 中私家车出行的概率小于(表 3)中私家车出行的概率。比较博弈矩阵(表 1)得出的  $P_1 = (a - b)/c$  和矩阵(表 3)得出的  $P_1 = (a - b)/(e + c)$ ,可知  $(a - b)/c - (a - b)/(e + c) > 0$ ,即表 1 中政府征收拥堵税的概率大于(表 3)中政府征收拥堵税的概率。

从整个社会的福利来考虑,政府应尽量减少征收拥堵税的概率,而又要保证私家车出行的概率降低,因此政府可以选择以区间  $((a - b)/(e + c), (a - b)/c)$  中的某一概率征收拥堵税来解决交通拥堵。

比较可得同时使用征收拥堵税和发放补贴的政策,政府有更多的途径来降低私家车出行的概率。因此同时使用征收拥堵税和发放补贴的政策的效果更好。

### 3 对策及建议

缓解交通拥堵是当前的亟待解决的问题,从以上博弈结果分析可知政府可以通过增加征收拥堵税的税额来控制私车与公交出行的比例。比如提高征收的拥堵税  $c$ ,则私车出行的概率将会越低,当然如果拥堵税  $c$  过高,则私车出行的比例太低,会造成道路资源的供给大于交通量,导致道路资源的浪费。因此政府不能盲目地提高征税的额度。另外政府也可以从内部进行管理,强化内部资源的合理配置,降低收税的成本  $d$  和发放补贴的成本  $r$ ,使私车出行的概率降低。

#### 参考文献:

[ 1 ] 张维迎. 博弈论与信息经济学[ M ]. 上海 :上海人民出版社

社 2004.

[ 2 ] 阿瑟·奥莎利文. 城市经济学[ M ]. 周京奎译. 北京 :北京大学出版社 2008.

[ 3 ] 孙春燕,陈耀辉,景睿. 防止盗电的一种有效措施——博弈论的应用[ J ]. 重庆师范大学学报 :自然科学版, 1998, 3 : 26-30.

[ 4 ] 文宏,叶勇. 化解乡镇债务中的博弈问题研究[ J ]. 重庆工学院学报 :自然科学版 2006, 10 : 29-31.

[ 5 ] 许雄奇. 走私与反走私的经济学分析[ J ]. 重庆工学院学报 :自然科学版 2004, 01 : 18-20.

[ 6 ] 唐毓敏,冯苏苇. 政策博弈下的道路交通拥挤定价[ J ]. 管理科学学报 2008, 8 : 76-83.

[ 7 ] Small K A. Special issue :congestion pricing[ J ]. Transportation, 1992, 19 : 287-291.

[ 8 ] Baumol W, Oates W. The theory of environmental policy [ M ]. Cambridge :Cambridge University Press, 1998.

## Analysis on Game Theory in Traffic Congestion

DONG Tian-tian<sup>1</sup>, TAN Jian-chun<sup>2</sup>

( 1. School of Economics and Management ;

2. Auditing Department , Chongqing Normal University , Chongqing 401331 , China )

**Abstract :** As both the urbanization and motorization promoted rapidly in our city , the phenomenon of traffic jams in our big cities were serious than ever before. In order to help the government find out a kind of better economic means to solve traffic jams , this paper used the method of game to analyze the government and passengers , studied on the behaviors of the passengers on adopting collecting the traffic jams tax or giving bus subsidy or both methods adopt at the same time , got the conclusion that the essence of government adopting economic policy to solve traffic jams is to guide private car turn to public transportation. On this foundation , this paper put forward that adopting both collecting the traffic jams tax and giving subsidy have a better effect. At the same time the traffic jams tax should be limited in a reasonable range. The conclusion of this paper could provide the basis to solve the traffic jams in the big cities.

**Key words :** traffic jams ; congestion tax ; bus subsidies ; game theory ; the behavior of government and the passengers

( 责任编辑 游中胜 )